ARBETSRAPPORT 1183-2024

Bränsleförbrukning i drivning 2022

Lars Eliasson

Foto: Fredrik Gunnarsson

skogforsk

skogsbrukets tekniska samverkansgrupp
TSG

Innehåll

Förord **3**

Summary **4**

Sammanfattning **5**

Inledning **6**

Material och metod **7**

Statistisk analys 8

Relationen mellan körd sträcka och skotningsavstånd 9

Beräkning av medelbränsleförbrukningen i Sverige 11

Resultat **12**

Analys av det maskininsamlade datamaterialet 12

Observerad bränsleförbrukning 12

Bränslemodeller 14

Skattning av medelbränsleförbrukningen i Sverige 15

Diskussion **16**

Svagheter i materialet 17

Svagheter i skattningen av medelbränsleförbrukningen i Sverige 18

Slutsatser 19

Referenser **19**

Uppsala Science Park, 751 83 Uppsala
skogforsk@skogforsk.se
skogforsk.se

Kvalitetsgranskning (Intern peer review) har genomförts 2 juli 2024 av
Gert Andersson, programchef. Därefter har Magnus Thor, Forskningschef,
granskat och godkänt publikationen för publicering 3 juli 2024.

Redaktör: Anna Franck, anna@annafranck.se
©Skogforsk 2024 ISSN 1404-305X

Förord

Det här arbetet kom till på uppmaning av arbetsgruppen för maskindata och förarstöd inom TSG. Utan det stöd som getts av arbetsgruppens medlemmar, John Arlinger (JDA Forest), Fredrik Gunnarsson (Skogsentreprenörerna), Robert Johansson (Holmen), Ulf Jonsson (Sveaskog), och Joel Persson (Södra), hade arbetet varit avsevärt svårare.

Lars Eliasson

Skogsbrukets tekniska samverkansgrupp, TSG, är ett forum för samverkan i skogstekniska frågor. Medlemmarna representerar avverkningsentreprenörer, skogsägarföreningar, skogsbolag, och forskare från både universitet och Skogforsk.

Summary

Greenhouse gas emissions have increasingly come into focus during the last decade. This has made it increasingly important for the industry to be able to describe the climate impact of their business, and to show how they work to reduce these emissions. Of Swedish greenhouse gas emissions, forestry machinery (harvesters, forwarders, scarifiers, as well as bush saws and chainsaws) accounted for ca. 0.8 percent of the total emissions. Fuel costs are one of the largest cost items for forest machine owners, and thus constitutes a significant part of harvesting costs. There are, therefore, strong incentives from both a profitability perspective and an environmental perspective to reduce fuel consumption. To establish a baseline, it is important to have information on how much fuel harvesters and forwarders consume. In addition to update earlier fuel consumption estimates, the Technical Cooperation Group decided to establish a method for an automated collection of fuel data.

A pilot study showed that it is possible to estimate fuel consumption from automatically collected machine data. The results from the pilot study agreed well with results of earlier studies. The current report presents results from a three-year follow-up of fuel consumption for harvesters and forwarders, as well as a methodology for calculating the average fuel consumption per harvested cubic meter (m^3 solid under bark, m^3) in Sweden.

The results show that the fuel consumption for the entire harvesting operation was 1.7 litres per m^3 of wood harvested in 2022, which is the same as in 2021 but slightly higher than 2020. This corresponds to an emission of 352,000 tons of CO_2 equivalents for all harvesting operations in Sweden. This is lower than the Environmental Protection Agency's estimate of 368,000 tonnes of CO_2 equivalents for all forestry work machines, i.e. which also includes scarifiers.

The quality of the estimates can be improved if forwarder operators increase their accuracy when reporting the forwarded volume. In the fuel consumption models, the variable “distance travelled per cubic meter” is used, this is not the same as the more commonly used variable "Forwarding distance". It is possible to convert “distance travelled per cubic meter” to “forwarding distance, and vice versa, but this methodology needs to be improved. There is need for a study to determine the winding factor more reliably. Future estimates of average fuel consumption in Sweden should be based on functions based on regional data.

Sammanfattning

Det senaste decenniet har utsläppen av växthusgaser alltmer kommit i fokus. Detta har medfört att det blivit allt viktigare för företag att visa vilken klimatpåverkan deras produkter har, och hur de arbetar för att minska dessa utsläpp. Av de totala växthusgasutsläppen i Sverige stod skogsbrukets arbetsmaskiner (skördare, skotare, markberedare samt röj- och motorsågar) för knappt 0,8 procent av de totala utsläppen 2022. Bränslekostnaderna utgör dessutom en av de största kostnadsposterna för skogsmaskinägarna, och därmed en betydande del av avverkningskostnaden. Därmed finns drivkrafter för att minska förbrukningen av bränsle från både ett lönsamhetsperspektiv för den enskilde maskinägaren och ett miljöperspektiv. Av dessa anledningar är det viktigt att det finns uppgifter om hur mycket bränsle som förbrukas av skördare respektive skotare. För att uppdatera dessa uppgifter beslöt den tekniska samverkansgruppens arbetsgrupp för maskindata och förarstöd att påbörja en automatiserad insamling av bränsleförbrukningsdata.

En pilotstudie visade att det går bra att skatta bränsleförbrukningen från automatiskt insamlade maskindata, och att resultaten överensstämmer väl med resultaten från de tidigare enkäterna som använts för att skatta bränsleförbrukningen. I denna rapport presenteras resultaten från tre års uppföljning av bränsleförbrukningen för skördare och skotare, samt en metodik för att beräkna medelbränsleförbrukningen per avverkad kubikmeter (m^3fub) i Sverige.

Resultaten visar att bränsleförbrukningen för hela drivningsarbetet var 1,7 liter per m^3fub under 2022, vilket är detsamma som för 2021 men något högre än 2020. Detta motsvarar ett utsläpp på 352 000 ton CO_2-ekvivalenter för allt drivningsarbete, vilket är rätt nära Naturvårdsverkets skattning på 368 000 ton CO_2-ekvivalenter för alla skogsbrukets arbetsmaskiner.

Skattningarnas kvalitet kan förbättras med en ökad noggrannhet i angivandet av den skotarrapporterade volymen. I bränsleförbrukningsmodellerna används variabeln körd sträcka per kubikmeter. Denna kan räknas om till den vanligare använda variabeln ”Skotningsavstånd”. Den första skattningen av hur detta ska göras bör kompletteras med en studie för att säkrare bestämma slingertillägget. Framtida skattningar av medelbränsleförbrukningen i Sverige bör baseras på regionala data.

Inledning

I dagens samhälle har utsläppen av växthusgaser alltmer kommit i fokus. Detta har medfört att det blivit allt viktigare för företag att visa vilken klimatpåverkan deras produkter har, och hur de arbetar för att minska dessa utsläpp. Av de totala växthusgasutsläppen i Sverige stod arbetsmaskiner för sex procent. Av dessa sex procent utgör utsläppen från de arbetsmaskiner som används i skogsbruket 13 procent (Naturvårdsverket 2023), det vill säga knappt 0,8 procent av de totala utsläppen. Utsläppsandelen för skogsbrukets arbetsmaskiner har minskat jämfört med uppgifterna för 2016 (Naturvårdsverket 2018). Bränslekostnaderna utgör en av de största kostnadsposterna för skogsmaskinägarna, och därmed en betydande del av avverkningskostnaden. Detta innebär att det är viktigt att, både ur ett lönsamhetsperspektiv och ur ett miljöperspektiv, minska förbrukningen av bränsle så mycket det går utan att det påverkar maskinägarens övriga kostnader samt intäkter negativt.

Av dessa anledningar är det viktigt att det finns uppgifter om hur mycket bränsle skördare respektive skotare normalt förbrukar. Skogforsk har 2006 (Brunberg 2007) och 2012 (Brunberg 2013) skickat ut enkäter till maskinägarna där de fått redovisa maskinstorlek, typ av avverkning, förbrukad mängd bränsle, producerad volym och antal arbetade timmar under en utsedd fokusvecka. Båda åren skickades en enkät ut under vintern, vecka 13 respektive 8, och en under hösten, vecka 39. Svarsfrekvensen på enkäterna har varit hög båda åren med något fler svar för den första fokusveckan än för den andra. Nackdelen med enkäterna är att de varit resurskrävande och att data bara samlas in för en vintervecka och en höstvecka. Det senare har medfört att resultaten inte kunnat visa på om det finns en säsongsvariation i bränsleförbrukningen.

Tidigare studier har visat på att de faktorer som påverkar skogsmaskinernas bränsleförbrukning antingen är maskinrelaterade (exempelvis storlek, lastkapacitet och motoreffekt) eller beror på avverkningstraktens egenskaper (exempelvis medelstammens volym, skotningsavstånd och avverkningsform) (Rieppo & Örn 2003; Brunberg 2007; Brunberg 2013; Weise 2022; Kärhä m.fl. 2023). Dessa faktorers inverkan på bränsleförbrukningen beror dessutom på vilket bränsleförbrukningsmått (liter per timme eller liter per kubikmeter) man väljer att använda (Kärhä m.fl. 2023).

När en ny uppföljning planerades under 2019, beslöt den tekniska samverkansgruppens (TSGs) arbetsgrupp för maskindata och förarstöd att påbörja ett arbete för att undersöka möjligheterna att automatisera datainsamlingen (Eliasson 2022). I den aktuella arbetsgruppen ingick Joel Persson (Södra), Fredrik Gunnarsson (Skogsentreprenörerna), Ulf Jonsson (Sveaskog), Robert Johansson (Holmen) och John Arlinger (JDA Forest) utöver Skogforsks representanter. Dagens datoriserade skördare och skotare samlar in en stor mängd data automatiskt. Då dessa data är standardiserade enligt Stanfordstandarden så kan data samlas in oberoende av maskintillverkare. Data om bränsleförbrukning och tid redovisas i maskinernas maskinuppföljningsfiler (machine operational monitoring; mom-filer). Från 2020 samlas data löpande in från maskiner ägda av Holmen skog, Sveaskog och Södra skogsägarna.

Studien visade att det gick bra att skatta bränsleförbrukningen från automatiskt insamlade maskindata, och att resultaten överensstämde väl med resultaten från de tidigare enkäterna (Eliasson 2022). De skördardata som använts var av tillräckligt god kvalitet för att göra användbara analyser, men det krävs mer arbete för att säkra datakvaliteten i skotardata. För skotarna var det främst förarens volymsuppskattningar i

mom-filerna som var av variabel kvalitet. En utmaning har varit att klassificera maskinerna i storleksklasser, då ett objektivt mått på maskinstorlek är svårt att hämta ur maskindata. En annan utmaning är att de maskininsamlade påverkande parametrarna skiljer sig från de traditionella parametrar som använts i bränsleanalyser, exempelvis redovisas körd sträcka i mom-filerna vilket inte är detsamma som skotningsavståndet. Den skattade bränsleförbrukningen per kubikmeter stämde väl överens med Brunbergs (2007, 2013) tidigare skattningar. Studien visade också att man inte behöver modellera skördarens och skotarens bränsleförbrukning var för sig om man är intresserad av den totala bränsleförbrukningen per kubikmeter för drivningen, utan en skattning av bränsleförbrukningen per arbetslag ger en bättre skattning. Detta resultat bekräftades av den uppföljande studie som genomfördes med material från 2021 (Eliasson 2023).

Vid en utvärdering av de medelvärden och funktioner för bränsleförbrukning per kubikmeter som togs fram från datamaterialet för 2020 och 2021, visade det sig att dessa inte skiljer sig i någon nämnvärd utsträckning från tidigare studier (Eliasson m.fl. 2023). Ett undantag är dock att en finsk studie av skördarens bränsleförbrukning i gallring (Kärhä m.fl. 2023) visar på en högre förbrukning än den generella funktionen från det automatiskt insamlade datamaterialet. Skotarfunktioner baserade på maskindata visade sig vara svåra att jämföra med traditionella bränsleförbrukningsfunktioner för skotare, då avståndet skattats på olika sätt (Eliasson m.fl. 2023). Resultaten visar också att bränsleförbrukningen i materialet var något högre 2021 än 2020, och en fortlöpande uppföljning behövs för att avgöra hur stor variationen mellan år är.

Det finns ett stort intresse för att använda resultaten för att skatta medelbränsle-förbrukningen i Sverige, i delar av landet eller för enskilda företag. Detta kräver att en standardiserad metod tas fram så att skattningarna för olika år eller mellan företag blir jämförbara.

Insamlingen av data fortgår och syftet med denna studie är att:

1. Fastställa om bränsleförbrukningen 2022 skiljer sig från tidigare år
2. Utveckla en standardiserad metod för skattningen av medelbränsleförbrukningen per avverkad kubikmeter i Sverige

Material och metod

Sedan 2020 har data samlats in automatiskt från ett större antal skördare och skotare under hela året. Det data som använts för bränsleuppföljningsstudierna är drifts-uppföljningsdata (mom-filer) och produktionsdata (hpr-filer för skördarna och fpr-filer från skotarna). Dessa data har kompletterats med traktdata som beräknats med HprYield (Arlinger m.fl. 2017). De variabler som nyttjats i analysen (Tabell 1) överensstämmer inte alltid med de påverkande variablerna som använts i tidigare studier. Exempelvis mäter maskinerna körd sträcka, vilket inte är detsamma som ”skotningsavstånd”. Samtliga maskiner som ingått i studien är ägda av Holmen Skog, Sveaskog eller Södra skogsägarna. Det finns en skevhet i materialet då de flesta maskinerna är allroundmaskiner eller slutavverkningsmaskiner.

Tabell 1. De variabler som utnyttjats vid analys av skördare respektive skotare

	SKÖRDARE	SKOTARE
Maskintillverkare/modell	X	X
Starttid för trakten, datum+klockslag	X	X
Sluttid för trakten, datum+klockslag	X	X
Bränsleförbrukning (l)	X	X
Maskintid	X	X
Avverkad volym (m^3fub) enligt skördarmätning	X	
Avverkat antal träd	X	
Körd sträcka	X	X
Skotad volym (m3fub) skattad av föraren		X
Antal lass		X
Uttag per ha	Hpr-yield	Hpr-yield

Skördarrapportering är väletablerad och för de flesta trakterna återfinns alla nödvändiga variabler i materialet. För skotarna är det oftare förekommande med trakter där datamaterialet inte är komplett i de insamlade filerna och/eller trakter där man på grund av en mycket lägre skotad volym än den skördarrapporterade kan misstänka att en del av arbetet utförts av en annan skotare. Trakter där kompletta data saknats eller som omfattat mindre än åtta arbetstimmar har filtrerats bort från skördar- respektive skotarmaterialet. Detta har resulterat i skördardata från 4315 trakter och skotardata från 2264 trakter, varav 1865 trakter har data från båda maskinerna.

En klassificering av skotarstorleken har gjorts efter faktisk medellast per skotarmodell i fyra klasser: <10 m^3fub, 10–13 m^3fub, 13–16 m^3fub samt >16 m^3fub. Likaledes gjordes en grov klassning av skördarna i tre klasser beroende på medelstamsvolymen i uttaget. Om en skördarmodell har haft en medelstam som i medeltal för alla trakter varit under 0,15 har den klassats som liten, mellan 0,15 och 0,30 har klassats som mellan och över 0,30 har klassats som stor. De här grupperingarna har möjliggjort att ett antal maskiner där märke och/eller modell inte framgår av databasen kunnat medtas i analyserna.

Statistisk analys

I samband med den statistiska analysen filtrerades datamaterialet för att avlägsna trakter med antingen väldigt liten eller väldigt stor medelstamsvolym, samt trakter med ett kort (<50 m) eller väldigt långt skotningsavstånd (>1000 m). Dessutom togs en del outliers avseende bränsleförbrukningen bort (Tabell 2).

Tabell 2. Acceptabla intervall för att en trakt ska tas med i analyserna.

	SKÖRDARE	SKOTARE	LAG
Medelstam	0,03–1,2		0,03–1,2
Körd sträcka/m³fub		15–250 m	15–250 m
Bränsleförbrukning/m³fub	<6 liter	>0,2 liter	>0,5 liter

Den statistiska analysen har gjorts som en kovariansanalys (ANCOVA) med GLM proceduren i statistikprogramvaran SAS. Responsvariabeln har varit bränsleförbrukning per kubikmeter eller bränsleförbrukning per timme. År och maskinklass har använts som klassvariabler, medan medelstam, antal träd per kubikmeter, körd sträcka per kubikmeter, och avverkad volym per ha har använts som kontinuerliga variabler (kovariat) i analysen.

Relationen mellan körd sträcka och skotningsavstånd

I bränsleanalyserna används parametern körd sträcka per m³fub när skotarens och arbetslagets bränsleförbrukning beräknas. Om denna multipliceras med skotarens lastvolym fås den körda sträckan per lass. Den körda sträckan kan antas vara summan av fyra delsträckor:

- Körd sträcka utan last
- Körd sträcka under lastning
- Körd sträcka med last
- Körd sträcka på avlägg vid lossning och tankning

Summan av sträckan för körning med last och sträckan för körning utan last (s_k) kan skattas från skotningsavståndet (A):

$$s_k = 2 \times A \times x$$

Den körda sträckan under lastning (s_L) går att skatta från virkesuttaget per ha (U), skotarens lastvolym (L), stickvägsavståndet (a) och ett slingertillägg (x) som:

$$s_L = x\frac{10000L}{U \times a}$$

Denna skattning förutsätter dock att all volym lastas i samma lass, så det är en underskattning i de fall man kör sortimentsrena lass eller bara samlastar några av de uttagna sortimenten. Nu överlappar denna sträcka delvis sträckan för körning med och utan last om denna skattas från skotningsavståndet, vilket leder till en överskattning av den totala körda sträckan.

Den körda medelsträckan på avlägg vid lossning och tankning (s_a) är svårare att skatta och här är förslaget att man ansätter en konstant sträcka per lass.

Antar man att s_a är 50 m och att slingertillägget är lika stort för alla delsträckor, är det möjligt att skatta den körda sträckan per kubikmeter (s; m/m³fub) som:

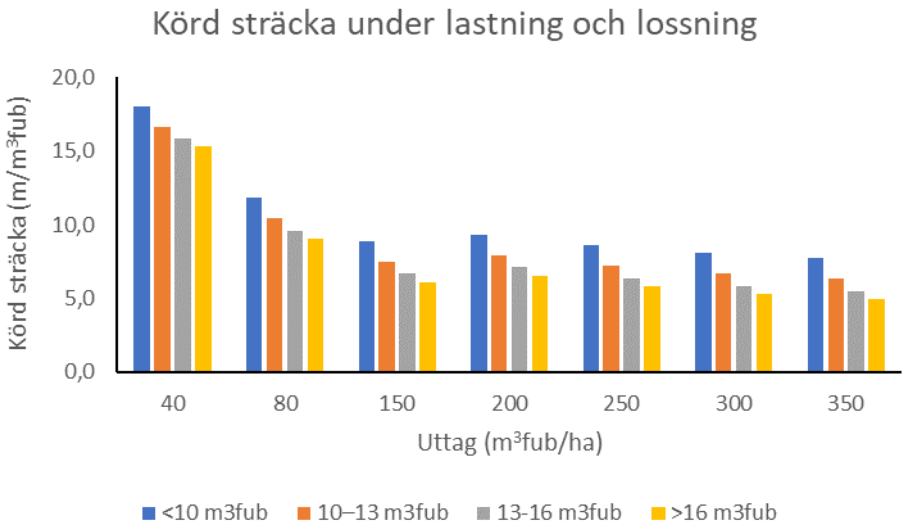
$$s = \frac{s_L + s_k + s_a}{L} = \frac{x\left({10000L}/{(U \times a)} + 2A + 50\right)}{L}$$

Ett tillgängligt mindre material där skotarstorlek, körd sträcka och skotningsavstånd finns registrerat möjliggör en första skattning av slingertillägget x. Slingertillägget

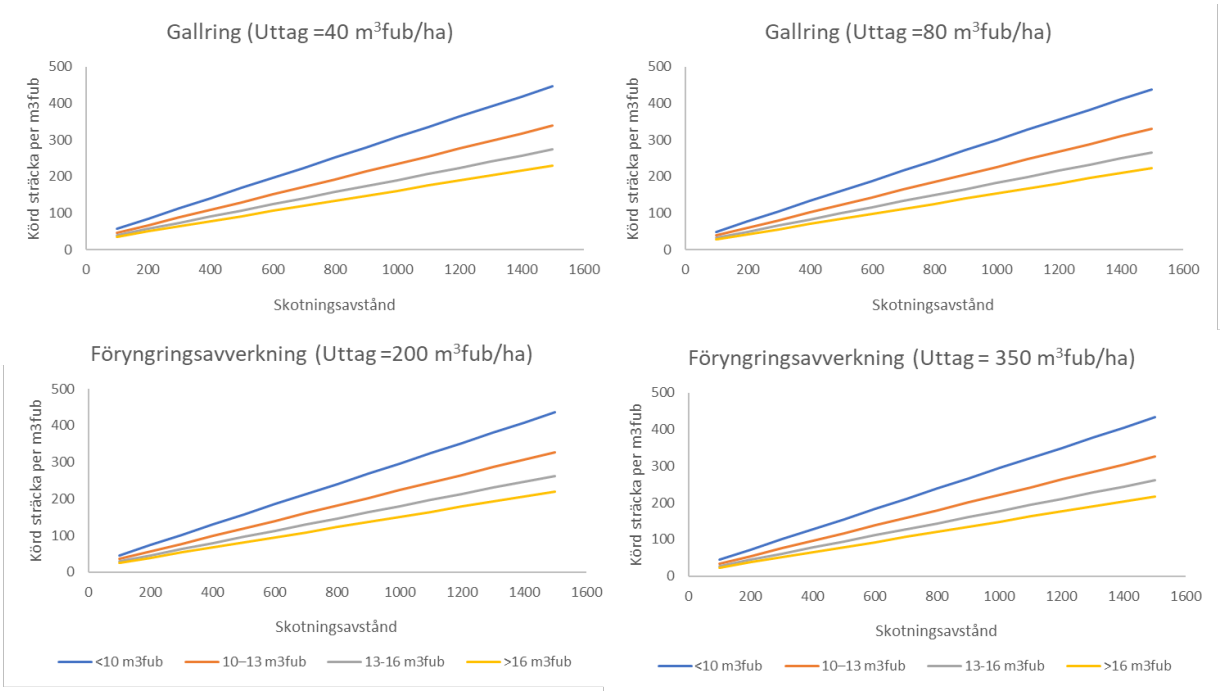
varierar mellan arbetslag och påverkas av skotningsavstånd med mera, men kan uppskattas till ungefär 1,25. Här behövs mer data för att få en pålitlig skattning.

Dessa antaganden medger en skattning av den körda sträckan per m³fub för lastning och lossning som varierar från 18 m i gallring till 8 m i slutavverkning (Figur 1). Skulle underskattningen av s_L på grund av sortimentsrena lass vara så stor att sträckan under lastning ska fördubblas innebär det att sträckan per m³fub i gallring ökar med 12 m vid 40 kubikmeters uttag och sträckan i slutavverkning ökar med ca 3 m. Denna överskattning torde dock motverkas av överlappet mellan körning under lastning och körning med och utan last.

Det är tydligt att de större skotarna behöver ett avsevärt större skotningsavstånd för att uppnå samma körda sträcka per kubikmeter som de små skotarna (Figur 2). Detta gör att det använda filtret som begränsar den körda sträckan per m³fub till 250 m ger olika skotningsavstånd beroende på skotarstorlek. Medan 250 m per m³fub ger ett skotningsavstånd på ca 800 m för en skotare med ett medellass på 9 kubikmeter (<10 m³), ger det ett skotningsavstånd på ca 1700 m för en stor skotare (>16 m³) med ett medellass på 18 kubikmeter.



Figur 1. Variation i körd sträcka per kubikmeter under lastning och lossning beroende på skotarstorlek och avverkad volym per ha, antaget 100 m medelköravstånd per lass på avlägg. Uttag upp till 150 m³fub per ha avser gallring med ett stickvägsavstånd på 20 m, uttag över 150 m m³fub per ha avser slutavverkning med ett stickvägsavstånd på 13 m.



Figur 2. Körd sträcka per kubikmeter som funktion av avverkad volym per ha, skotningsavstånd och maskinstorlek. Som synes har uttaget en nästan obefintlig effekt på den körda sträckan.

Beräkning av medelbränsleförbrukningen i Sverige

Då bränsleförbrukningen är linjär mot de tre påverkande parametrarna: träd per m³fub, sträcka per m³fub och uttagen volym per ha, kommer en skattning baserat på medeltal per region eller landsdel att vara i stort sett väntevärdesriktig. Samvariationen mellan parametrarna gör att det inte går att få en helt väntevärdesriktig skattning. För att undvika en del samvariation och en ologisk modellstruktur har det varit fördelaktigt att välja en funktion som bara beror på två påverkande parametrar: träd per m³fub och sträcka per m³fub.

Oavsett valet av funktion kommer svårigheten i att skatta bränsleförbrukningen i Sverige vara att fastställa värdet för de påverkande parametrarna. Antal träd per m³fub, det vill säga inversen av volymmedelstammen ($\bar{v}$), och uttagen volym per ha (U) går att hämta från den årliga kostnads- och intäktsenkäten, men är då separerad på gallring respektive slutavverkning. Detta gör att beräkningen måste delas upp på avverkningsform, där gallrings- (G%) och föryngringsavverkningsandelen (S%) hämtas från kostnads- och intäktsenkäten, medan den avverkade virkesvolymen per region (V_R) eller per landsdel (V_L) hämtas från Skogsstyrelsens avverkningsstatistik (Anon. 2023a; Anon. 2023b; Anon. 2023c). Ett aber här är att statistiken per landsdel och region inte finns tillgänglig per år före 2022. Medelkörsträckan per m³fub (s) går att skatta från bränsleförbrukningsdata. De regions- och landsdelsvisa beräkningarna är lika bortsett från upplösningen på indatat. Beräkning per landsdel blir:

$$B = \frac{1}{\sum V_L} \times \sum_{L=S\ Sverige}^{L=N\ Sverige} (V \times G\% \times f(\bar{v}; s; U)_G + V \times S\% \times f(\bar{v}; s)_S)$$

och den regionvisa beräkningen blir:

$$B = \frac{1}{\sum V_R} \times \sum_{R=Götaland}^{R=N\ Norrland} (V \times G\% \times f(\bar{v}; s; U)_G + V \times S\% \times f(\bar{v}; s)_S)$$

En beräkning av bränsleåtgången på nationell nivå utifrån medelvärden för hela landet går att göra med ekvationen:

$$B = \frac{(V \times G\% \times f(\bar{v}; s; U)_G + V \times S\% \times f(\bar{v}; s)_S)}{V}$$

Denna beräkning blir dock osäkrare än de landsdelsvisa och regionvisa beräkningarna ovan, då den förutsätter en skattning av de ingående parametrarna på riksnivå. Detta går inte att göra på ett helt rättvisande sätt utan att man känner de landsdelsvisa eller helst de regionvisa avverkningsnivåerna per avverkningsform, eftersom det finns en viss variation i svarsfrekvensen mellan regioner i kostnad och intäkts-enkäten.

Resultat

Analys av det maskininsamlade datamaterialet

Då de maskiner som levererat data är skevt fördelade mellan maskinstorlekar, med en större andel medelstora och stora maskiner än i maskinparken i stort, presenteras resultaten dels som medelvärden per maskinklass, dels som funktioner som kan användas för att beräkna bränsleförbrukningen vid konstanta förutsättningar.

Observerad bränsleförbrukning

I det insamlade materialet har de små skördarnas bränsleförbrukning per avverkad kubikmeter minskat mellan 2020 och 2022 (Tabell 3), mycket beroende på att de har avverkat större träd. På motsvarande sätt har en minskning av den avverkade medelstamsvolymen lett till att de stora skördarnas bränsleförbrukning per kubikmeter ökat.

För skotarna med ett medellass mellan 10 och 13 kubikmeter har bränsleförbrukningen per avverkad kubikmeter ökat mellan 2020 och 2022 (Tabell 4). Här är en trolig förklaring att de använts mer i gallring, vilket den minskande medelavverkningsvolymen per ha tyder på. För de minsta skotarna finns inte tillräckligt med data för att presentera några medelvärden.

Tabell 3. Medelvärden för skördarnas bränsleförbrukning per m^3fub och per timme samt medelstamsvolym fördelat på år och skördarklass.

	2020	**2021**	**2022**
Skördarklass		Bränsleförbrukning per m^3fub (l)	
Liten	1,63	1,59	1,46
Mellan	0,80	0,86	0,88
Stor	0,68	0,74	0,75
		Bränsleförbrukning per timme (l)	
Liten	13,5	13,3	12,7
Mellan	17,4	17,6	17,9
Stor	19,1	19,3	18,9
		Medelstamvolym (m^3fub)	
Liten	0,10	0,11	0,11
Mellan	0,25	0,27	0,26
Stor	0,43	0,39	0,37

Tabell 4. Medelvärden för skotarnas bränsleförbrukning per m³fub och timme, samt körd sträcka och avverkad volym per ha fördelat på skotarklass och år.

SKOTARKLASS	2020	2021	2022
	Bränsleförbrukning per m³fub (l)		
<10 m³fub		1,03	1,24
10–13 m³fub	0,92	0,94	1,00
13–16 m³fub	1,05	0,91	0,95
>16 m³fub	0,66	0,71	0,67
	Bränsleförbrukning per timme (l)		
<10 m³fub		8,5	9,7
10–13 m³fub	10,5	10,2	10,3
13–16 m³fub	12,2	13,7	13,7
>16 m³fub	14,3	14,9	14,6
	Körd sträcka per m³fub (m)		
<10 m³fub		133	135
10–13 m³fub	95	101	95
13–16 m³fub	92	92	86
>16 m³fub	58	59	58
	Avverkad volym per ha (m³fub)		
<10 m³fub		64	58
10–13 m³fub	150	132	103
13–16 m³fub	130	158	111
>16 m³fub	210	230	228

Bränslemodeller

Liksom tidigare år fås den högsta förklaringsgraden (82,2 procent) då man modellerar bränsleförbrukningen för det totala drivningsarbetet. Bränsleförbrukningen för det totala drivningsarbetet kan skattas som:

$$B = 0{,}559 + \frac{0{,}092}{\bar{v}} + 0{,}0093S + Y$$

Där Y=-0,068 för 2020, Y=0,003 för 2021 och Y=0 för 2022. Det finns ingen säkerställd skillnad i bränsleförbrukning mellan 2021 och 2022, utan det är 2020 som skiljer sig från de två följande åren.

Skördarnas bränsleförbrukning kan modelleras som:

$$B = 0{,}429 + \frac{0{,}091}{\bar{v}} + Y$$

Där Y=-0,032 för 2020, Y=0,024 2021 och Y=0 för 2022. Modellen för skördarnas bränsleförbrukning förklarar 77,3 procent av variationen i materialet. Skillnaderna i skördarnas bränsleförbrukning mellan de olika åren är säkerställd.

Skotningen kan modelleras som:

$$B = 0{,}233 + 0{,}0069s + \frac{4{,}618}{U} + Y$$

Där Y=0,001 för 2020, Y=0,030 för 2021 och Y=0 för 2022. Den här modellen för bränsleförbrukningen förklarar 76,7 procent av variationen i materialet, förklaringsgraden går att öka till 78,4 procent med en mer komplex modell som ger separata funktioner per skotarklass (Tabell 5). Oavsett vilken skotningsfunktion som väljs finns ingen säkerställd skillnad i bränsleförbrukning mellan 2020 och 2022, men bränsleförbrukningen 2021 är säkerställt högre än bränsleförbrukningen för de två övriga åren.

Tabell 5. Den mer komplexa modellen för skotarnas bränsleförbrukning per m^3fub.

SKOTARKLASS	B=
<10 m^3fub	$0{,}451 + 0{,}0029s + \frac{8{,}349}{U} + Y$
10–13 m^3fub	$0{,}248 + 0{,}0062s + \frac{8{,}349}{U} + Y$
13–16 m^3fub	$0{,}150 + 0{,}0079s + \frac{8{,}349}{U} + Y$
>16 m^3fub	$0{,}196 + 0{,}0072s + \frac{8{,}349}{U} + Y$

Där Y=-0,003 för 2020, Y=0,033 för 2021 och Y=0 för 2022

I drivnings- och skotningsfunktionerna kan s ersättas med:

$$\frac{x\left({}^{10000L}/_{(U \times a)} + 2A + 100\right)}{L}$$

om man vill ersätta körd sträcka med ”Skotningsavstånd” (se ”Relationen mellan körd sträcka och skotningsavstånd” i material och metod).

Skattning av medelbränsleförbrukningen i Sverige

Medelbränsleförbrukningen i Sverige var avsevärt lägre 2020 än 2021 och 2022 (Tabell 6), vilket huvudsakligen är ett resultat av den signifikanta skillnaden i modellen för bränsleåtgång i drivning. De tre olika beräkningssätten ger liknande resultat, och skillnaden mellan beräkningar på landsdelsnivå, regional nivå eller nationell nivå är mycket liten och återfinns oftast först i tredje decimalen (Tabell 6). I likhet med tidigare studier är bränsleförbrukningen vid gallring avsevärt högre än vid slutavverkning (Tabell 7).

Baserat på de regionala funktionerna kan den totala bränsleförbrukningen i drivning skattas till 122 miljoner liter diesel 2020, 131 miljoner liter diesel 2021 och 132 miljoner liter diesel 2022. Detta motsvarar utsläpp av 327 tusen ton CO2-ekvivalenter 2020, 351 tusen ton 2021 och 352 tusen ton 2022.

Tabell 6. Medelbränsleåtgången per avverkad och skotad fastkubikmeter 2020 till 2022 beräknad med de tre olika funktionerna.

	2020	**2021**	**2022**
Regional funktion	1,65	1,70	1,71
Landsdelsfunktion	1,66	1,70	1,70
Nationell funktion	1,64	1,70	1,71

Tabell 7. Medelbränsleåtgången (l per m^3fub) per avverkad och skotad fastkubikmeter 2020 till 2022 separerat på avverkningsform beräknat med den regionala metodiken.

	2020	**2021**	**2022**
Gallring	2,63	2,72	2,73
Slutavverkning	1,35	1,41	1,40
Sammanvägd bränsleförbrukning	1,65	1,70	1,71

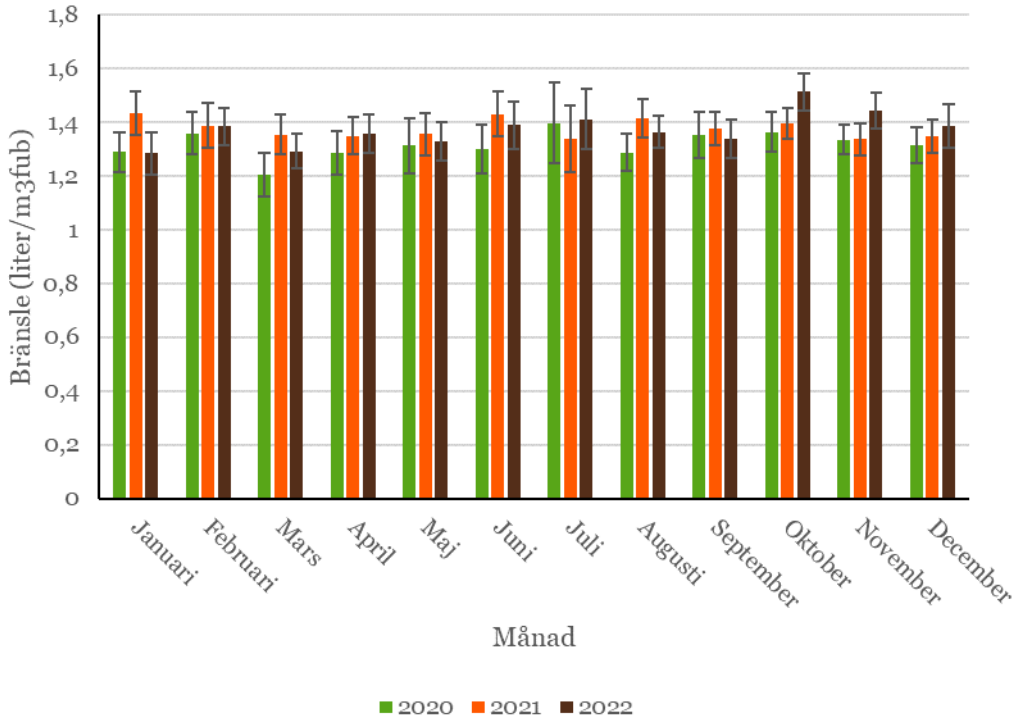
Diskussion

Den utvecklade metodiken för skattning av bränsleförbrukning fungerar bra och innebär att datainsamlingen kan automatiseras. Detta förutsätter tillstånd att använda data från ett större antal maskinägare. I dagsläget är de maskiner som ingår i materialet ägda av några av de större skogsbolagen och skogsägarföreningarna. På sikt vore det bra att även entreprenörsägda maskiner deltog i datainsamlingen, dels för att förbättra spridningen mellan maskinstorlekar, dels för att få en bättre geografisk täckning.

Den automatiska insamlingen av data innebär att arbetet med studien underlättas jämfört med kontrollerade mätningar (Björheden m.fl. 2019; Kärhä m.fl. 2023) och tidigare enkätstudier (Brunberg 2007; Brunberg 2013). Dessutom är det troligt att skattningarna blir säkrare än enkätskattningarna, då man får mätvärden från hela året och inte bara två fokusveckor. Liksom i pilotstudien (Eliasson 2022) och uppföljningen 2021 (Eliasson m.fl. 2023) är överensstämmelsen med tidigare studier god.

Variationen i bränsleförbrukning under året är förhållandevis stor. Det finns månader där bränsleförbrukningen är förhållandevis likvärdig för de tre åren, men också månader där ett enstaka år sticker ut (Figur 3). Orsaken till detta är troligtvis skillnader i väderförhållanden mellan åren, vilka påverkat drivningsförhållandena och därmed kanske även påverkat användningen av slirskydd och band. Det är väl känt att användningen av dessa ökar bränsleförbrukningen (Brunberg 2007; Brunberg 2013;

Kärhä m.fl. 2023). Detta är ett område som kräver ytterligare studier, dels studier där geografiska och temporala bränsleförbrukningsdata och väderdata samkörs, dels studier där effekten av kedjor och band mäts under kontrollerade förhållanden.



Figur 3. Medelbränsleförbrukning per kubikmeter (liter/m³fub) givet ett uttag på 200 m³fub per ha, en medelstamsvolym på 0,33 m³fub och en körsträcka på 60 m per m³fub.

Svagheter i materialet

Det rapporterade skördardatat håller i de flesta fall tillräckligt hög kvalitet för att användas till analyser av bränsleförbrukningen. Liksom i de tidigare studierna (Eliasson 2022; Eliasson 2023; Eliasson m.fl. 2023) har en mindre del av trakterna fått tas bort, antingen för att datasetet inte varit komplett eller för att maskintiden varit mindre än åtta timmar. Då antalet små trakter förväntas öka kan det vara så att åttatimmarsgränsen är för hård. I framtiden kanske den bör sänkas för att storleksfördelningen för de analyserade trakterna bättre ska överensstämma med storleksfördelningen för alla avverkade trakter i Sverige. Då alla trakter fortfarande ligger kvar i grunddatabasen går det att uppdatera skattningen av bränsleförbrukningen för hela tidsserien, det vill säga även för de år som presenterats här.

För skotardata är det, liksom tidigare, vanligare med fel i det rapporterade materialet. Det är främst de två förarinmatade parametrarna lass och volym som innehåller fel. Föraren kan missa att rapportera lass och i en del fall rapporteras hela volymen som skotats under skiftet som ett lass. På grund av detta har antalet lass inte gått att använda som en variabel i analyserna. Det har dessutom varit nödvändigt att filtrera bort alla lass med en volym överstigande 30 m³fub när skotarmodellernas medellastvolym beräknats. Sedan är det tydliga avvikelser mellan den skotade volymen och den skördarrapporterade volymen på trakterna. Här kan liksom tidigare (Eliasson 2022) tre grupper av trakter utskiljas:

1. En stor grupp trakter där avvikelsen från skördarmätningen är liten (<10 procent).

Och två mindre grupper

2. En mindre grupp trakter där avvikelsen är 10–20 procent och majoriteten av alla trakter har en mindre skotarrapporterad volym än den skördarmätta.
3. En mindre grupp trakter där skotaren rapporterat en avsevärt mindre volym än skördaren. Här är nog orsaken ofta att man använt två skotare på trakten och bara en rapporterat in mom- och fpr-data. Det finns exempel i databasen där två skotare rapporterat volym för samma trakt och summan av deras volymsuppgifter är nära skördarvolymen. Dessa hamnar i grupp 1 ovan.

Att den skotarrapporterade volymen ger en underskattning av volymen jämfört med skördarmätningen medför att skotarnas bränsleförbrukning per kubikmeter kan antas vara överskattad. Då de allra flesta trakterna kan hänföras till den första gruppen ovan bör inte överskattningen vara stor.

Den semi-subjektiva klassificeringen av ”maskinstorlek” kan också diskuteras. I normalfallet behöver den dock inte användas vid modelleringarna av bränsle-förbrukningen, då den inte ökar förklaringsgraderna markant. Därför har inte modeller med maskinklass inkluderats i resultaten för skördare och maskinlag. För skotare har en sådan modell presenterats, då en sådan är nödvändig om man vill göra en korrekt skattning av bränsleförbrukningen vid skotning på längre avstånd. För de som är intresserade av modeller med maskinstorlek presenteras dessa i Eliasson m.fl. (2023).

Svagheter i skattningen av medelbränsleförbrukningen i Sverige

De medelvärdesbaserade skattningar som genomförts av medelbränsleförbrukningen i Sverige kommer inte att bli helt korrekta, då modellen för bränsleförbrukning har ett krökt utfallsrum. För att få en helt korrekt skattning skulle man behöva en fördelningsfunktion som anger de avverkade trakternas volymsvägda fördelning över medelstamsvolym och körd sträcka eller skotningsavstånd. Det fel som uppstår är troligen litet, men större än skillnaden mellan funktionerna i tabell 7.

En svaghet som påverkar siffrorna mer är osäkerheterna i den nationella statistiken gällande avverkad volym per region eller landsdel (summan av två regioner). Fram till 2020 presenteras regionsiffrorna som löpande treårsmedelvärden (Anon. 2023c), där 2020 års skattning således är ett medelvärde för 2019–2021. Från och med 2022 presenteras en ettårsskattning (Anon. 2023b), vilket medför att det inte finns någon skattning för 2021. Detta har lösts genom att ett medelvärde för de regionala volymandelarna 2020 och 2022 beräknats per region och multiplicerats med nettoavverkningen 2021 (Anon. 2023a). Det eventuella fel denna svaghet orsakat kommer att korrigeras då det regionala treårsmedelvärdet för 2021 publicerats.

Slutsatser

- Bränsleförbrukningen i drivning 2022 var 1,7 liter per m^3fub, vilket är detsamma som 2021 men något högre än 2020.
- Detta motsvarar ett utsläpp på 352 000 ton CO_2-ekvivalenter för allt drivningsarbete, vilket är rätt nära Naturvårdsverkets skattning på 368 000 ton CO_2-ekvivalenter för alla skogsbrukets arbetsmaskiner (Naturvårdsverket 2023).
- För att förbättra skattningarna är det nödvändigt att öka noggrannheten i den skotarrapporterade volymen.
- Den första skattningen av hur körd sträcka kan skattas från skotningsavståndet bör kompletteras med en studie för att säkrare bestämma slingertillägget.
- Framtida skattningar av medelbränsleförbrukningen i Sverige bör baseras på regionala data.

Referenser

Anon. 2023a. 01. Brutto- och nettoavverkad volym (milj. m3sk och m3fub) efter sortiment av stamved. År 1942–2022. Skogsstyrelsen, https://pxweb.skogsstyrelsen.se:443/sq/b2228c8c-c81c-4a61-9dd1-736fffe60c69

Anon. 2023b. 02a. Bruttoavverkad volym (milj. m3sk) efter region. År 2022. Skogsstyrelsen, https://pxweb.skogsstyrelsen.se:443/sq/9e5c7080-61aa-41b5-986b-11c3dece21ae

Anon. 2023c. 02b. Bruttoavverkad volym (1 000 m3sk) efter År (3-årsmedelvärde), Ägarkategori och Region. Skogsstyrelsen, https://pxweb.skogsstyrelsen.se:443/sq/0f95f6c4-eb8f-4752-a917-e22893296f90

Björheden, R., Lundström, H., Rossander, M. & Brunberg, T. 2019. Arbetsmiljö, prestation och bränsleförbrukning för fem stora skördare: John Deere 1470G, Komatsu 951, Logset 12H, Ponsse Bear och Rottne H21 (Ergonomics, performance and fuel consumption for five big cut-to-length harvesters: John Deere 1470G, Komatsu 951, Logset 12H, Ponsse Bear and Rottne H21). Arbetsrapport Nr. 1010, Skogforsk, 28 s.

Brunberg, T. 2007. Bränsleförbrukningen hos skördare och skotare vecka 13 och 39, 2006. Arbetsrapport Nr. 629-2007, Skogforsk, 13 s.

Brunberg, T. 2013. Bränsleförbrukningen hos skogsmaskiner 2012. Webresultat Nr. 23-2013, Skogforsk, 4 s.

Eliasson, L. 2022. Ny metod för skattning av bränsleförbrukning vid drivningsarbete. Webresultat Nr. 4-2022, Skogforsk, 3 s.

Eliasson, L. 2023. Bränsleförbrukningen vid drivningsarbete under 2021. Webresultat Nr. 12-2023, Skogforsk, 3 s.

Eliasson, L., Kärhä, K. & Arlinger, J. 2023. Fuel consumption in logging operations in Sweden. International Journal of Forest Engineering: 1–7.

Kärhä, K., Haavikko, H., Kääriäinen, H., Palander, T., Eliasson, L. & Roininen, K. 2023. Fossil-fuel consumption and CO2eq emissions of cut-to-length industrial roundwood logging operations in Finland. European Journal of Forest Research 142: 547–563.

Naturvårdsverket 2018. Arbetsmaskiners klimat- och luftutsläpp. Rapport Nr. 6826, Naturvårdsverket, Stockholm. 145 s. ISBN 978-91-620-6826-4.

Naturvårdsverket 2023. Arbetsmaskiner, utsläpp av växthusgaser. Naturvårdsverket, https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/vaxthusgaser-utslapp-fran-arbetsmaskiner/

Rieppo, K. & Örn, J. 2003. Metsäkoneiden polttoaineen kulutuksen mittaaminen, Esitutkimus (Measuring the fuel consumption of forest machines. Preliminary study). Nr. Raportti 148, Metsäteho, 23 s.

Weise, G. 2022. Kraftstoffverbrauch und leistung von forstmaschinen im licht der KWF-gebrauchswertprüfungen (Fuel consumption and performance of forest machines in the light of the KWF utility value tests). Forsttechnische Informationen 74(5): 12–17.